



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103204223 A

(43) 申请公布日 2013. 07. 17

(21) 申请号 201310130071. 9

G08G 3/02 (2006. 01)

(22) 申请日 2013. 04. 15

(71) 申请人 大连海事大学

地址 116026 辽宁省大连市高新区凌海路 1 号

(72) 发明人 王宁 刘刚健 董诺 汪旭明

孟凡超 孙树蕾

(74) 专利代理机构 大连东方专利代理有限责任

公司 21212

代理人 李馨 李洪福

(51) Int. Cl.

B63B 9/00 (2006. 01)

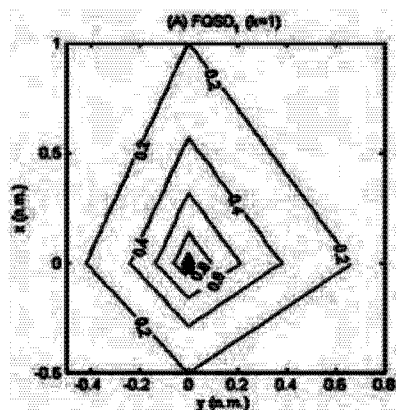
权利要求书3页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

一种模糊四元船舶安全领域模型及船舶避碰方法

(57) 摘要

本发明公开了一种模糊四元船舶安全领域模型,其特征是:该模型由参数 Q 和 k 决定,参数 Q 由四个方向半径决定,方向半径分为: $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$, $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$;其中, $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$ 分别为四元船舶领域纵向半径(R_{lon})的前、后半径; $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$ 分别为四元船舶领域横向半径(R_{lat})的左、右半径; r 为模糊化实际距离的参数,随着 r 值的不同,模糊四元船舶安全领域模型的边界为多个由这四个方向半径所围成的封闭曲线组合而成,由于采用了上述技术方案,本发明提供了一种模糊四元船舶安全领域模型和船舶避碰方法,形成了一个统一的安全领域框架,可以直观得到一个确定的船舶安全区域,结合避碰几何模型,可以有效提前警示相关船舶展开避碰动作,有效的保证了海上航行的安全性。



1. 一种模糊四元船舶安全领域模型,其特征在于:该模型由参数Q和k决定,参数Q由四个方向半径决定,方向半径分为: $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$, $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$;其中, $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$ 分别为四元船舶领域纵向半径(R_{lon})的前、后半径; $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$ 分别为四元船舶领域横向半径(R_{lat})的左、右半径;

r 为模糊化实际距离的参数,随着 r 值的不同,模糊四元船舶安全领域模型的边界为多个由这四个方向半径所围成的封闭曲线组合而成,其函数表达如下:

$$FQSD_k(r) = \{(x, y) | f_k(x, y; Q(r)) \leq 1, k \geq 1\}$$

$$\text{其中, } f_k(x, y; Q(r)) = \left(\frac{2x}{(1+\text{sgn}x)R_{fore}(r) - (1-\text{sgn}x)R_{aft}(r)} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\text{sgn}y)R_{starb}(r) - (1-\text{sgn}y)R_{port}(r)} \right)^k$$

$$Q(r) = \{R_{fore}(r), R_{aft}(r), R_{starb}(r), R_{port}(r)\}, 0 < r < 1;$$

$$R_i(r) = \left(\frac{\ln \frac{1}{r}}{\ln \frac{1}{r_0}} \right)^{\frac{1}{k}} R_i, i \in \{fore, aft, starb, port\}, \text{选取 } r_0 = 0.5;$$

定义: $FQSD_k(r_0) = QSD_k$,其中 QSD_k 由下式确定:

$$QSD_k = \{(x, y) | f_k(x, y; Q) \leq 1, Q = \{R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}, R_{port}\}, k \geq 1\};$$

其中边界函数 f_k 如下:

$$f_k(x, y; Q) = \left(\frac{2x}{(1+\text{sgn}x)R_{fore} - (1-\text{sgn}x)R_{aft}} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\text{sgn}y)R_{starb} - (1-\text{sgn}y)R_{port}} \right)^k$$

$$\text{其中: } \text{sgn}x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}, \text{sgn}y = \begin{cases} 1, y \geq 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}, Q \text{ 为方向半径, 决定模型的大小, } k \text{ 决定模型的}$$

形状;

$$Q \text{ 的估计公式为 } \begin{cases} R_{fore} = (1 + 1.34\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{aft} = (1 + 0.67\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{starb} = (0.2 + k_{AD})L \\ R_{port} = (0.2 + 0.75k_{AD})L \end{cases} \text{ 其中 } L \text{ 为本船船长, } k_{AD}, k_{DT} \text{ 分别由下}$$

式确定: $\begin{cases} k_{AD} = A_D / L = 10^{0.35911\lg V_{own} + 0.0952} \\ k_{DT} = D_T / L = 10^{0.54411\lg V_{own} - 0.0795} \end{cases}$, A_D, D_T 分别表示船舶进距和回转半径, V_{own} 表示本船船速。

2. 根据权利要求1所述的一种模糊四元船舶安全领域模型,其特征还在于:所述四元船舶安全领域模型的边界的形状由参数k决定,随着k值不同,边界形状也不同, $k=1, 2 \dots N$, 当 $k=1$ 时边界为多边形; $k=2$ 时,边界为椭圆形。

3. 根据权利要求2所述的一种模糊四元船舶安全领域模型,其特征还在于:多边形边界的模糊四元船舶安全领域模型的函数表达式如下:

$$f_q(x, y; Q(r)) = \frac{2x}{(1+\text{sgn}x)R_{fore}(r) - (1-\text{sgn}x)R_{aft}(r)} + \frac{2y}{(1+\text{sgn}y)R_{starb}(r) - (1-\text{sgn}y)R_{port}(r)},$$

当 $k=1$ 时,模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的三角形组合而成。

4. 根据权利要求 2 所述的一种模糊四元船舶安全领域模型,其特征还在于:椭圆四元船舶领域模型可定义为下式:

$$f_{ce}(x, y; Q(r)) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} \right)^2 + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)} \right)^2$$

当 $k=2$ 时,模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的椭圆,取其相应的 $\frac{1}{4}$ 个椭圆组合而成。

5. 一种船舶避碰方法,具有如下步骤:

—获取至少包含本船船长 L , 运动距离和回转半径 A_D, D_T 以及本船船速 V_{own} 的船舶航行参数,计算得到四个方向半径 $R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}$ 和 R_{port} ;

—将所述 $R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}$ 和 R_{port} 带入四元船舶模型中,得到船舶安全领域区域,所述的模型表达式如下:

$$FQSD_k(r) = \{(x, y) | f_k(x, y; Q(r)) \leq 1, k \geq 1\}, \text{ 这里 } f_k(x, y; Q(r))$$

$$= \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)} \right)^k,$$

$$Q(r) = \{R_{fore}(r), R_{aft}(r), R_{starb}(r), R_{port}(r)\}, 0 < r < 1;$$

$$R_i(r) = \left(\frac{\ln \frac{1}{r}}{\ln \frac{1}{r_0}} \right)^{\frac{1}{k}} R_i, i \in \{fore, aft, starb, port\}, \text{ 选取 } r_0 = 0.5;$$

定义: $FQSD_k(r_0) = QSD_k$, 其中 QSD_k 由下式确定:

$$QSD_k = \{(x, y) | f_k(x, y; Q) \leq 1, Q = \{R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}, R_{port}\}, k \geq 1\} \text{ 其中, 边界函数}$$

$$f_k(x, y; Q) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore} - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb} - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}} \right)^k$$

$$\text{其中: } \operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}, \operatorname{sgn} y = \begin{cases} 1, y \geq 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}, k=1, 2, \dots, N;$$

—运用不对称高斯函数定义纵向和横向碰撞危险模型,生成模糊四元船舶领域模型确定的等级区域;当有障碍物或其它船舶进入所述等级区域时,船舶驾驶员根据当前的等级区域做出避碰动作。

6. 根据权利要求 5 所述的一种船舶避碰方法,其特征还在于:所述 Q 的计算有下式得出:

$$\begin{cases} R_{fore} = (1 + 1.34\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{aft} = (1 + 0.67\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{starb} = (0.2 + k_{AD})L \\ R_{port} = (0.2 + 0.75k_{AD})L \end{cases}$$

L 为本船船长, k_{AD} , k_{DT} 分别由下式确定:

$$\begin{cases} k_{AD} = A_D / L = 10^{0.35911gV_{own}+0.0952} \\ k_{DT} = D_T / L = 10^{0.54411gV_{own}-0.0795} \end{cases},$$

A_D , D_T 分别表示前进运动距离和回转半径, V_{own} 表示本船船速。

7. 根据权利要求 5 所述的一种船舶避碰方法, 其特征还在于: 所述建立避碰几何模型包括如下方法:

运用不对称高斯函数定义纵向和横向碰撞危险模型, 其表达式分别为:

$$LonCR_k(x) = \exp\left[-\left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)\sigma_{fore} + (1-\operatorname{sgn} x)\sigma_{aft}}\right)^k\right],$$

$$\sigma_i = \frac{R_i}{\left(\ln \frac{1}{r_0}\right)^{\frac{1}{k}}}, i \in \{fore, aft\};$$

$$\operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases};$$

$$LatCR_k(x) = \exp\left[-\left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)\sigma_{starb} + (1-\operatorname{sgn} y)\sigma_{port}}\right)^k\right],$$

$$\sigma_i = \frac{R_i}{\left(\ln \frac{1}{r_0}\right)^{\frac{1}{k}}}, i \in \{starb, port\};$$

$$\operatorname{sgn} y = \begin{cases} 1, y \geq 0 \\ -1, y < 0 \end{cases};$$

定义空间碰撞危险 SCR, 定义 $SCR_k(x, y) = LonCR_k(x) \cdot LatCR_k(y)$, 则其表达式为:

$SCR_k(x, y) =$

$$\exp\left[-\left(\left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)\sigma_{fore} + (1-\operatorname{sgn} x)\sigma_{aft}}\right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)\sigma_{starb} + (1-\operatorname{sgn} y)\sigma_{port}}\right)^k\right)\right]$$

根据权利要求 5 所述的一种船舶避碰方法, 其特征还在于: 所述模糊四元船舶安全领域模型的边界的形状为多边形, 即 $k=1$ 函数表达式如下:

$$f_q(x, y; Q(r)) = \frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} + \frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)},$$

当 $k=1$ 时, 模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的三角形组合而成。

8. 根据权利要求 5 所述的一种船舶避碰方法, 其特征还在于: 所述模糊四船舶安全领域模型的边界的形状为多边形, 即 $k=2$ 函数表达式如下:

$$f_{ce}(x, y; Q(r)) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)}\right)^2 + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)}\right)^2$$

当 $k=2$ 时, 模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的椭圆, 取其相应的 $\frac{1}{4}$ 个椭圆组合而成。

一种模糊四元船舶安全领域模型及船舶避碰方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种模糊四元船舶安全领域模型及应用该模型的船舶避碰方法。

背景技术

[0002] 近年来随着全球经济贸易飞快发展、全球海运船队规模不断扩大,船舶碰撞事故发生率也随之增加。因此,确定船舶安全航行领域为进行海上交通模拟以及研究船舶碰撞危险的重要一环。

[0003] 20 世纪六七十年代,日本的加藤 [1] 提出船舶航行安全领域的概念至今,研究者提出了各种不同形状、大小的船舶航行安全领域模型,如:文献 [2] 提出的“横截面积”模型是由前后两个半椭圆拼合而成,由船舶操纵参数和航行速度等决定;文献 [3][4] 提出了一种复杂的六边形船舶领域模型,用船速和船舶回旋参数确定各边尺寸,该模型使得避碰情况下的船舶便于采用进化算法对其航迹进行优化,但其复杂程度较高,物理意思较含糊,不便于理解和实际应用;[5] 结合船舶转向性能等因素给出几种情况下船舶领域边界的量化方法,船舶的操纵性能在该方法中得到体现,但模型尺寸与影响因素之间的函数关系是人为给定的一种粗略的估算公式。综上所述,虽然现代船舶领域有着广泛的研究并且在船舶航行危险评估、船舶避碰、模拟航运交通、确定最佳航迹方面有着主要的作用。但是,始终无法形成一个统一的模型,造成上述问题的主要原因有:(1) 不同的航行环境的因素导致产生不同形状、大小的模型;(2) 大多数的模型都按照统计数据或模拟实验的方法形成;(3) 现有的模型都易于理解,但却很难被应用到实际中去。

[0004] 参考文献如下:

[0005] [1]Y. Ejii and K. Tanaka. Traffic capacity[J]. Journal of Navigation, 1971, 24: 543-552.

[0006] [2]K. Kijima and Y. cFurukawa. Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area[C], //Proceeding of IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft. 2003:123-128

[0007] [3]SMIERZCHALSIR, MICHALEWICZZ. Modelling of a ship trajectory in collision at sea by evolutionary algorithm[J]. IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 2004, 4(3):227-241.

[0008] [4]SMIERZCHALSIR. On-line trajectory planning in collision situation at sea by evolutionary computation experiments[C] //Proceeding of IFAC Conference on Computer Application in Marine System. Glasgow, UK:Elsevier Science, 2001:84-89.

[0009] [5] 郭志新. 船舶领域边界的量化分析 [J]. 武汉造船, 2001(S1):63-64.

[0010] [6]Ning Wang, Xian Yao Meng. A Unified Analytical Framework for Ship Domains[J], Journal of Navigation (2009), 62, 643-655.

[0011] [7] 刘绍满,王宁. 船舶领域研究综述 [J]. 大连海事大学学报, 2011.

发明内容

[0012] 针对以上问题的提出,本发明提出了一种模糊四元船舶安全领域模型,其特征在于:该模型由参数Q和k决定,参数Q由四个方向半径决定,方向半径分为: $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$, $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$;其中, $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$ 分别为四元船舶领域纵向半径(R_{lon})的前、后半径; $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$ 分别为四元船舶领域横向半径(R_{lat})的左、右半径;

[0013] 随着r值的不同,模糊四元船舶安全领域模型的边界为多个由这四个方向半径所围成的封闭曲线组合而成,其函数表达如下:

$$[0014] \quad FQSD_k(r) = \{(x, y) | f_k(x, y; Q(r)) \leq 1, k \geq 1\}$$

[0015] 其

中

$$f_k(x, y; Q(r)) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)} \right)^k$$

$$[0016] \quad Q(r) = \{R_{fore}(r), R_{aft}(r), R_{starb}(r), R_{port}(r)\}, 0 < r < 1;$$

$$[0017] \quad R_i(r) = \left(\frac{\ln \frac{1}{r}}{\ln \frac{1}{r_0}} \right)^{\frac{1}{k}} R_i, i \in \{fore, aft, starb, port\}, \text{选取 } r_0 = 0.5;$$

[0018] 定义: $FQSD_k(r_0) = QSD_k$,其中 QSD_k 由下式确定:

$$[0019] \quad QSD_k = \{(x, y) | f_k(x, y; Q) \leq 1, Q = \{R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}, R_{port}\}, k \geq 1\};$$

[0020] 其中边界函数 f_k 如下:

$$[0021] \quad f_k(x, y; Q) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore} - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb} - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}} \right)^k$$

[0022] 其中: $\operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}$, $\operatorname{sgn} y = \begin{cases} 1, y \geq 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}$, Q为方向半径,决定模型的大小,k决定模型的形状;

$$[0023] \quad Q \text{ 的估计公式为 } \begin{cases} R_{fore} = (1 + 1.34\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{aft} = (1 + 0.67\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{starb} = (0.2 + k_{AD})L \\ R_{port} = (0.2 + 0.75k_{AD})L \end{cases} \text{ 其中 } L \text{ 为本船船长, } k_{AD}, k_{DT} \text{ 分别}$$

由下式确定: $\begin{cases} k_{AD} = A_D / L = 10^{0.35911\lg V_{own} + 0.0952} \\ k_{DT} = D_T / L = 10^{0.54411\lg V_{own} - 0.0795} \end{cases}$, A_D, D_T 分别表示船舶进距和回转半径, V_{own} 表示本船船速。

[0024] 所述四元船舶安全领域模型的边界的形状由参数k决定,随着k值不同,边界形状也不同, $k=1, 2 \cdots N$, 当 $k=1$ 时边界为多边形; $k=2$ 时,边界为椭圆形。多边形边界的模糊四元船舶安全领域模型的函数表达式如下:

[0025]

$$f_q(x, y; Q(r)) = \frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} + \frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)},$$

[0026] 当 $k=1$ 时,模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的三角形组合而成。

[0027] 根据权利要求 2 所述的一种模糊四元船舶安全领域模型,其特征还在于:椭圆四元船舶领域模型可定义为下式:

[0028]

$$f_{ce}(x, y; Q(r)) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} \right)^2 + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)} \right)^2$$

[0029] 当 $k=2$ 时,模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的椭圆,取其相应的 $\frac{1}{4}$ 个椭圆组合而成。

[0030] 一种船舶避碰方法,具有如下步骤:

[0031] 一获取至少包含本船船长 L ,运动距离和回转半径 A_D, D_T 以及本船船速 V_{own} 的船舶航行参数,计算得到四个方向半径 $R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}$ 和 R_{port} ;

[0032] 一将所述 $R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}$ 和 R_{port} 带入四元船舶模型中,得到船舶安全领域区域,所述的模型表达式如下:

[0033] $FQSD_k(r) = \{(x, y) | f_k(x, y; Q(r)) \leq 1, k \geq 1\}$, 这里 $f_k(x, y; Q(r))$

$$[0034] = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)} \right)^k,$$

[0035] $Q(r) = \{R_{fore}(r), R_{aft}(r), R_{starb}(r), R_{port}(r)\}, 0 < r < 1$;

$$[0036] R_i(r) = \left(\frac{\ln \frac{1}{r}}{\ln \frac{1}{r_0}} \right)^{\frac{1}{k}} R_i, i \in \{fore, aft, starb, port\}, \text{选取 } r_0 = 0.5;$$

[0037] 定义: $FQSD_k(r_0) = QSD_k$, 其中 QSD_k 由下式确定:

[0038] $QSD_k = \{(x, y) | f_k(x, y; Q) \leq 1, Q = \{R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}, R_{port}\}, k \geq 1\}$ 其中,边界函数

$$[0039] f_k(x, y; Q) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore} - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb} - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}} \right)^k$$

[0040] 其中: $\operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}, \operatorname{sgn} y = \begin{cases} 1, y \geq 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}, k=1, 2;$

[0041] 一运用不对称高斯函数定义纵向和横向碰撞危险模型,生成模糊四元船舶领域模型确定的等级区域;当有障碍物或其它船舶进入所述等级区域时,船舶驾驶员根据当前的等级区域做出避碰动作。

[0042] 所述 Q 的计算有下式得出:

$$[0043] \begin{cases} R_{fore} = (1 + 1.34\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{aft} = (1 + 0.67\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{starb} = (0.2 + k_{AD})L \\ R_{port} = (0.2 + 0.75k_{AD})L \end{cases}$$

[0044] L 为本船船长, k_{AD} , k_{DT} 分别由下式确定:

$$[0045] \quad \begin{cases} k_{AD} = A_D / L = 10^{0.35911gV_{own}+0.0952} \\ k_{DT} = D_T / L = 10^{0.54411gV_{own}-0.0795} \end{cases},$$

[0046] A_D , D_T 分别表示前进运动距离和回转半径, V_{own} 表示本船船速。

[0047] 所述建立避碰几何模型包括如下方法:

[0048] 运用不对称高斯函数定义纵向和横向碰撞危险模型,其表达式分别为:

$$[0049] \quad LonCR_k(x) = \exp\left(-\left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)\sigma_{fore} + (1-\operatorname{sgn} x)\sigma_{aft}}\right)^k\right),$$

$$[0050] \quad \operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}, \quad \sigma_i = \frac{R_i}{\left(\ln \frac{1}{r_0}\right)^{\frac{1}{k}}}, i \in \{fore, aft\};$$

$$[0051] \quad LatCR_k(y) = \exp\left(-\left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)\sigma_{starb} + (1-\operatorname{sgn} y)\sigma_{port}}\right)^k\right),$$

$$[0052] \quad \operatorname{sgn} y = \begin{cases} 1, y \geq 0 \\ -1, y < 0 \end{cases}, \quad \sigma_i = \frac{R_i}{\left(\ln \frac{1}{r_0}\right)^{\frac{1}{k}}}, i \in \{starb, port\};$$

[0053] 定义空间碰撞危险 SCR, 定义 $SCR_k(x, y) = LonCR_k(x) \cdot LatCR_k(y)$, 则其表达式为:
 $SCR_k(x, y) =$

$$[0054] \quad \exp\left(-\left(\left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)\sigma_{fore} + (1-\operatorname{sgn} x)\sigma_{aft}}\right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)\sigma_{starb} + (1-\operatorname{sgn} y)\sigma_{port}}\right)^k\right)\right)$$

[0055] 所述模糊四元船舶安全领域模型的边界的形状为多边形, 即 $k=1$ 函数表达式如下:

[0056]

$$f_q(x, y; Q(r)) = \frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} + \frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)},$$

[0057] 当 $k=1$ 时, 模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的三角形组合而成。

[0058] 所述模糊四元船舶安全领域模型的边界的形状为多边形, 即 $k=2$ 函数表达式如下:

[0059]

$$f_{ce}(x, y; Q(r)) = \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)}\right)^2 + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)}\right)^2$$

[0060] 当 $k=2$ 时, 模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的椭圆, 取其相应的 $\frac{1}{4}$ 个椭圆组合而成。

[0061] 由于采用了上述技术方案,本发明提供一种模糊四元船舶安全领域模型和船舶避碰方法,形成了一个统一的安全领域框架,可以直观得到一个确定的船舶安全区域,结合避碰几何模型,可以有效提前警示相关船舶展开避碰动作,有效的保证了海上航行的安全性。

附图说明

[0062] 为了更清楚的说明本发明的实施例或现有技术的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图做一简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0063] 图 1 为 Goodwin 船舶领域模型

[0064] 图 2 为本发明在 $k=1$ 时的模糊四元船舶领域模型

[0065] 图 3 为本发明在 $k=2$ 时的模糊四元船舶领域模型

[0066] 图 4 为本发明在 $k=1$ 时的纵向碰撞危险示意图

[0067] 图 5 为本发明在 $k=2$ 时的纵向碰撞危险示意图

[0068] 图 6 为本发明在 $k=1$ 时的横向碰撞危险示意图

[0069] 图 7 为本发明在 $k=2$ 时的横向碰撞危险示意图

[0070] 图 8 为本发明在 $k=1$ 时的空间碰撞危险示意图

[0071] 图 9 为本发明在 $k=2$ 时的空间碰撞危险示意图

具体实施方式

[0072] 为使本发明的实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚完整的描述:

[0073] 由图 1- 图 9 所示:

[0074] 本发明提出了一个基于模糊四元船舶领域模型的船舶航行危险评估的方法。该模型由参数 $Q(r)$ 和参数 k 确定。参数 $Q(r)$ 为四个方向半径确定,分别为 $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$, $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$, 其中: $R_{fore}(r)$, $R_{aft}(r)$ 分别为前,后方向半径; $R_{starb}(r)$, $R_{port}(r)$ 分别为左,右方向半径。随着 r 值的不同,模糊四元船舶领域模型为多个由这四个方向半径所围成的封闭曲线组合而成,其具体步骤如下:

[0075] 本发明中,定义模糊四元船舶模型表达式如下:

[0076] $FQSD_k(r) = \{(x, y) | f_k(x, y; Q(r)) \leq 1, k \geq 1\}$, 这里 $f_k(x, y; Q(r))$

[0077]
$$= \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn}x)R_{fore}(r)-(1-\operatorname{sgn}x)R_{aft}(r)} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn}y)R_{starb}(r)-(1-\operatorname{sgn}y)R_{port}(r)} \right)^k,$$

[0078] $Q(r) = \{R_{fore}(r), R_{aft}(r), R_{starb}(r), R_{port}(r)\}, 0 < r < 1;$

[0079]
$$R_i(r) = \left(\frac{\ln \frac{1}{r}}{\ln \frac{1}{r_0}} \right)^{\frac{1}{k}} R_i, i \in \{fore, aft, starb, port\}$$
 通常选取 $r_0=0.5$ 。

[0080] 定义: $FQSD_k(r_0) = QSD_k$, 其中 QSD_k 由下式确定:

[0081] $QSD_k = \{(x, y) | f_k(x, y; Q) \leq 1, Q = \{R_{fore}, R_{aft}, R_{starb}, R_{port}\}, k \geq 1\}$,

[0082] 其中边界函数 f_k 如下:

[0083] $f_k(x, y; Q) =$

$$[0084] \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore} - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb} - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}} \right)^k$$

$\operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}$ 其中参数 Q 由下式确定:

$$[0085] \begin{cases} R_{fore} = (1 + 1.34\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{aft} = (1 + 0.67\sqrt{k_{AD}^2 + (k_{DT}/2)^2})L \\ R_{starb} = (0.2 + k_{AD})L \\ R_{port} = (0.2 + 0.75k_{AD})L \end{cases},$$

[0086] 其中, L 为本船船长; k_{AD} , k_{DT} 分别由下式确定:

$$[0087] \begin{cases} k_{AD} = A_D / L = 10^{0.35911\lg V_{own} + 0.0952} \\ k_{DT} = D_T / L = 10^{0.54411\lg V_{own} - 0.0795} \end{cases},$$

[0088] 这里, A_D , D_T 分别表示前进运动距离和回转半径, V_{own} 表示本船船速。

[0089] 可见, 参数 $Q(r)$ 决定不同航行危险下模糊四元船舶领域模型的大小。

[0090] 取 k 为 1 时, 模型为四边形模糊四元船舶领域模型, 其四边形模糊四元船舶领域模型表达式, 如下:

[0091] $f_q(x, y; Q(r)) =$

$$[0092] \frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} + \frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)} \text{ 如图 2 所示,}$$

可知当 $k=1$ 时, 模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的三角形组合而成。

[0093] 取 k 为 2 时, 模型为椭圆形模糊四元船舶领域模型, 其椭圆形模糊四元船舶领域模型表达式, 如下:

[0094] $f_{ce}(x, y; Q(r)) =$

$$[0095] \left(\frac{2x}{(1+\operatorname{sgn} x)R_{fore}(r) - (1-\operatorname{sgn} x)R_{aft}(r)} \right)^2 + \left(\frac{2y}{(1+\operatorname{sgn} y)R_{starb}(r) - (1-\operatorname{sgn} y)R_{port}(r)} \right)^2 \text{ 如图 3 所示,}$$

可知当 $k=2$ 时, 模糊四元船舶领域模型为 4 个由参数 $Q(r)$ 中每两个方向半径所确定的椭圆, 取其相应的 $\frac{1}{4}$ 个椭圆组合而成。

[0096] 基于模糊四元船舶领域模型的船舶航行危险评估模型: 在模糊四元船舶领域模型的基础上, 运用不对称高斯函数定义纵向和横向碰撞危险模型, 其表达式分别为:

$$[0097] \quad LonCR_k(x) = \exp \left(- \left(\frac{2x}{(1 + \operatorname{sgn} x)\sigma_{fore} + (1 - \operatorname{sgn} x)\sigma_{aft}} \right)^k \right),$$

$$[0098] \quad \text{这里: } \operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}, \quad \sigma_i = \frac{R_i}{\left(\ln \frac{1}{r_0} \right)^{\frac{1}{k}}}, i \in \{fore, aft\};$$

$$[0099] \quad LatCR_k(y) = \exp \left(- \left(\frac{2y}{(1 + \operatorname{sgn} y)\sigma_{starb} + (1 - \operatorname{sgn} y)\sigma_{port}} \right)^k \right),$$

$$[0100] \quad \text{这里: } \operatorname{sgn} x = \begin{cases} 1, x \geq 0 \\ -1, x < 0 \end{cases}, \quad \sigma_i = \frac{R_i}{\left(\ln \frac{1}{r_0} \right)^{\frac{1}{k}}}, i \in \{starb, port\}.$$

[0101] 其纵向和横向碰撞危险分别如图 4, 5 所示。

[0102] 定义空间碰撞危险 SCR, 定义 $SCR_k(x, y) = LonCR_k(x) \cdot LatCR_k(y)$, 则其表达式为:
 $SCR_k(x, y) =$

$$[0103] \quad \exp \left(- \left(\left(\frac{2x}{(1 + \operatorname{sgn} x)\sigma_{fore} + (1 - \operatorname{sgn} x)\sigma_{aft}} \right)^k + \left(\frac{2y}{(1 + \operatorname{sgn} y)\sigma_{starb} + (1 - \operatorname{sgn} y)\sigma_{port}} \right)^k \right) \right)$$

[0104] 其空间碰撞危险如图 6 所示。

[0105] (7) 根据上述的公式得到船舶航行时碰撞危险程度, 本发明提供的船舶领域模型更接近人们平时对事物的判断。当有障碍物或者其他船舶进入到模糊四元船舶领域模型确定的等级区域时, 驾驶员可按照本发明模型提供的危险等级来判断本船新的航行轨迹。

[0106] 以上所述, 仅为本发明较佳的具体实施方式, 但本发明的保护范围并不局限于此, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明揭露的技术范围内, 根据本发明的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。

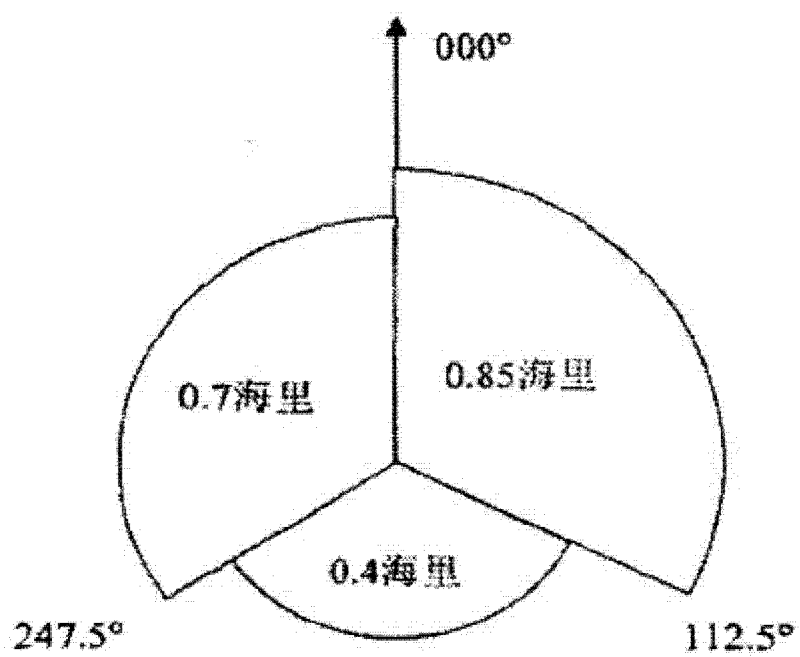


图 1

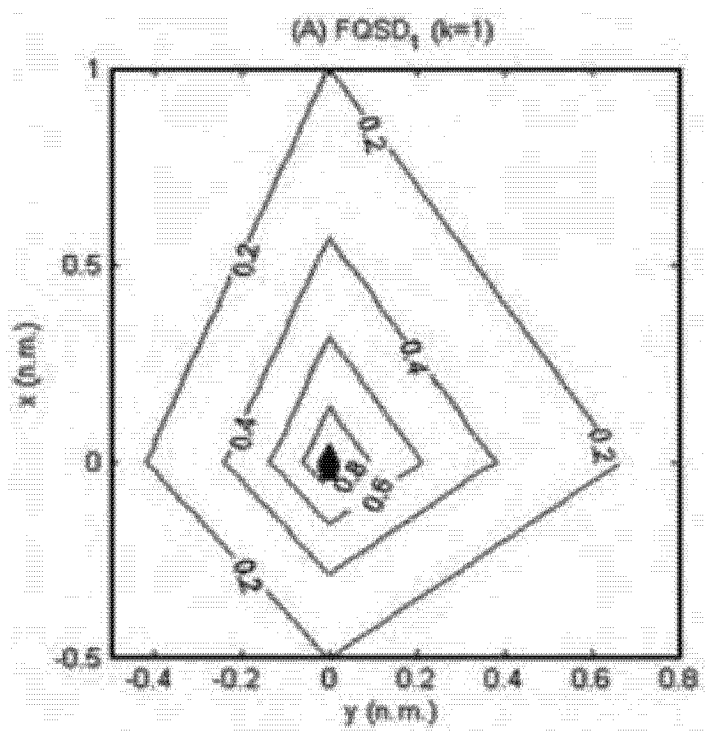


图 2

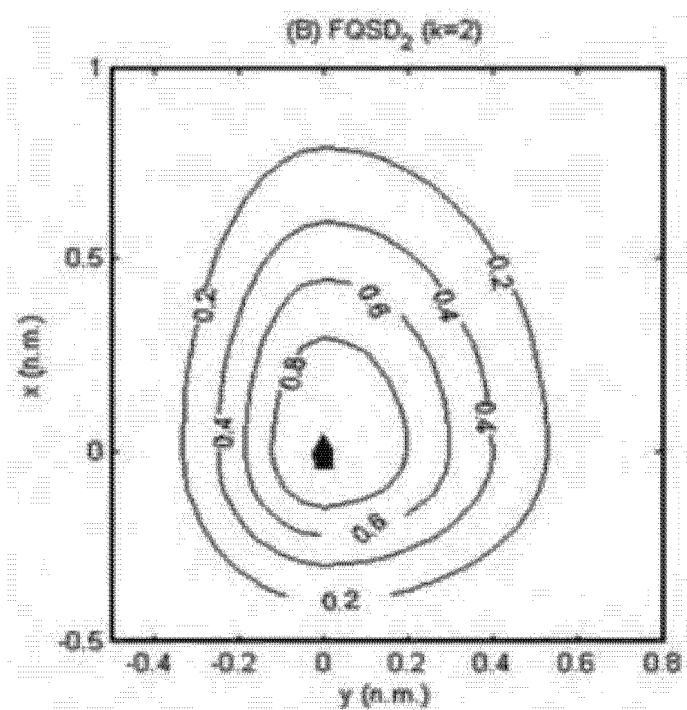


图 3

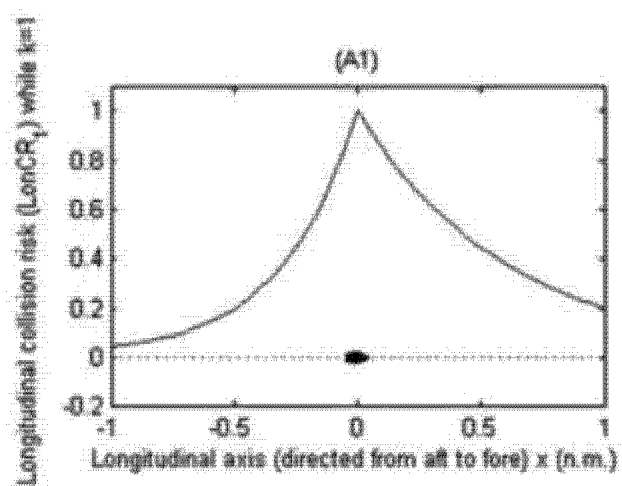


图 4

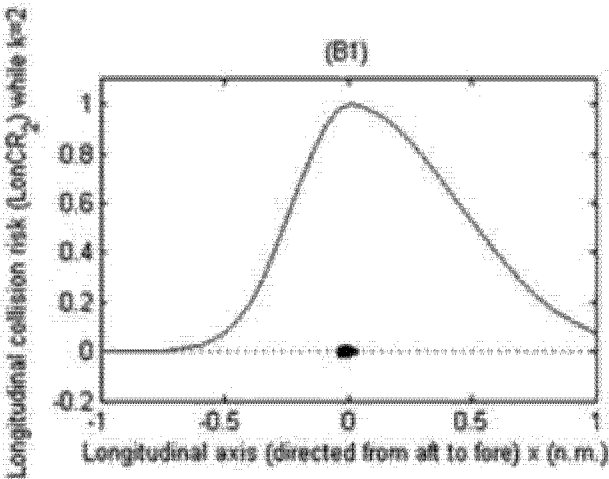


图 5

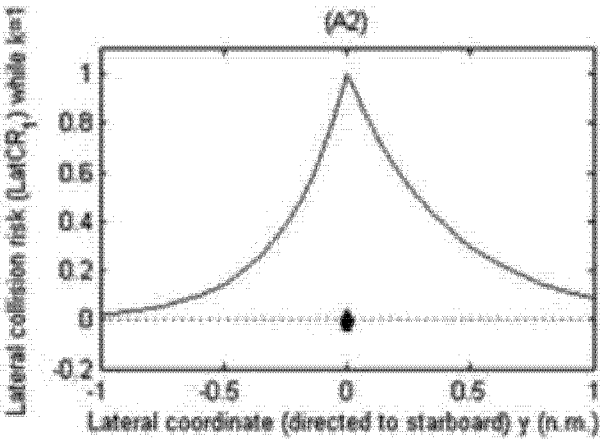


图 6

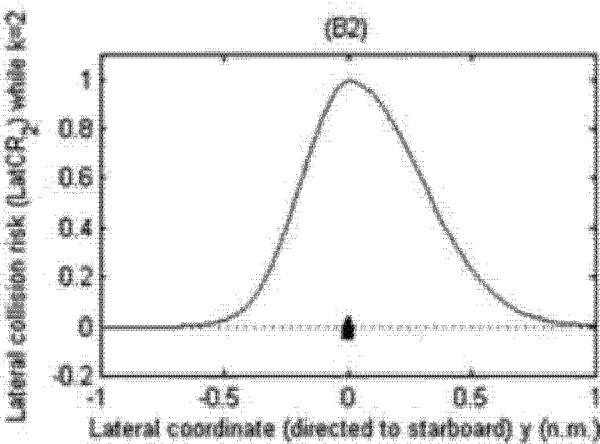


图 7

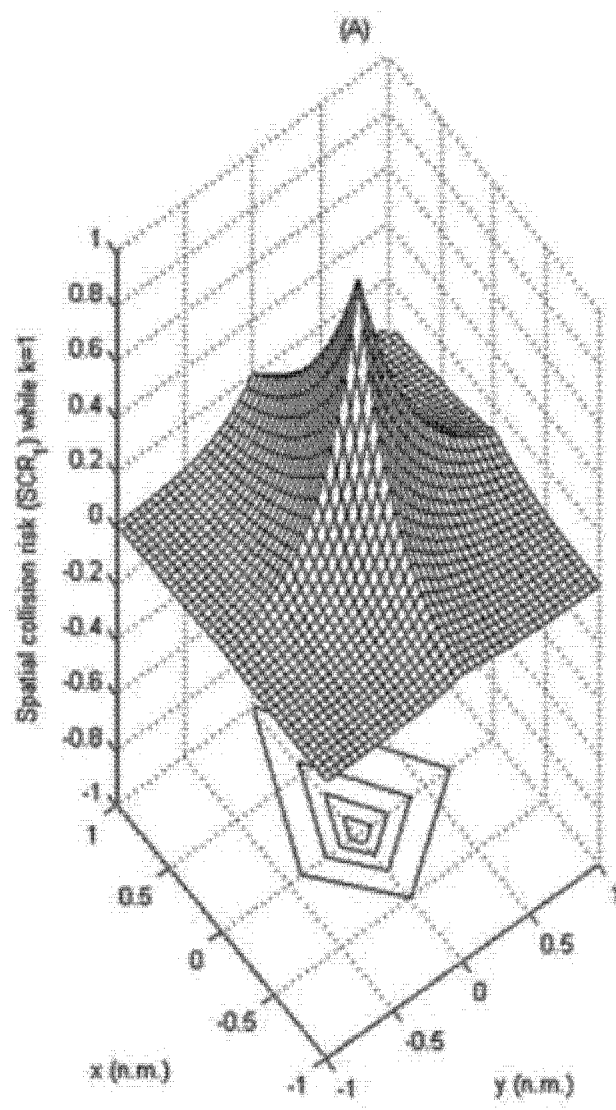


图 8

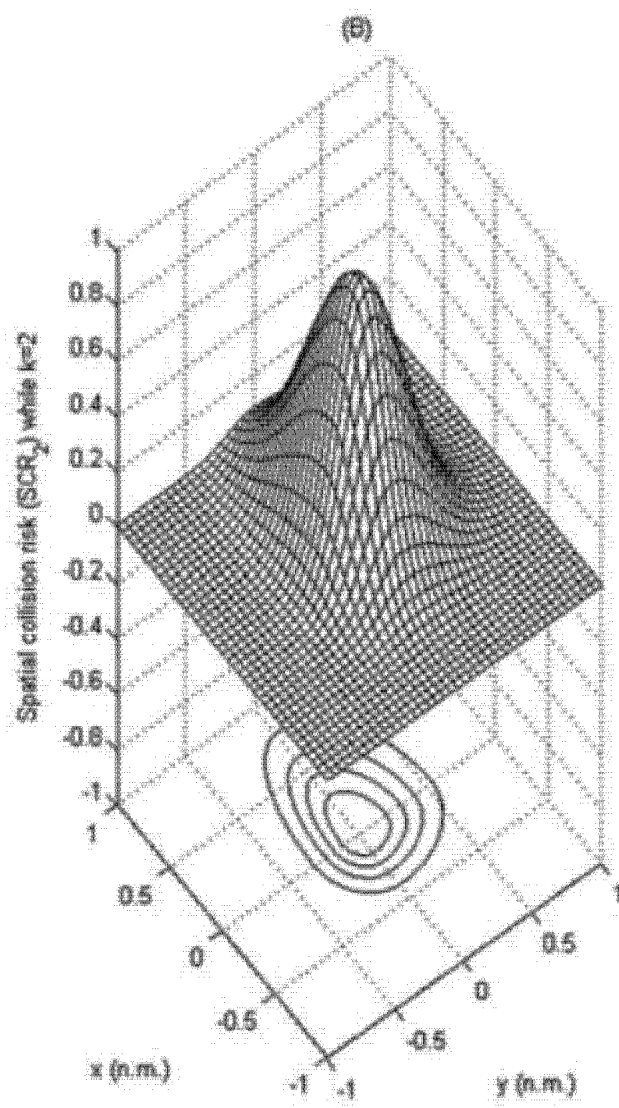


图 9